

19/5/36 (Item 7 from file: 94)
DIALOG(R)File 94:JICST-EPlus
(c)2000 Japan Science and Tech Corp(JST). All rts. reserv.

01390099 JICST ACCESSION NUMBER: 91A0517562 FILE SEGMENT: JICST-E
Perpendicular magnetic anisotropy and magneto-optical kerr effect of
FePt/Pt multilayer films.

WATANABE MASATO (1); TAKANASHI KOGI (1); FUJIMORI HIROYASU (1)
(1) Tohoku Univ., Inst. for Materials Res.
Nippon Oyo Jiki Gakkaishi(Journal of the Magnetism Society of Japan), 1991
, VOL.15,NO.2, PAGE.415-418, FIG.8, REF.11

JOURNAL NUMBER: Z0944AAE ISSN NO: 0285-0192
UNIVERSAL DECIMAL CLASSIFICATION: 537.634:669 535.097/.098
LANGUAGE: Japanese COUNTRY OF PUBLICATION: Japan

DOCUMENT TYPE: Journal

ARTICLE TYPE: Original paper

MEDIA TYPE: Printed Publication

ABSTRACT: We prepared FePt/Pt multilayer films on MgO(100) substrates, by
using an ion beam sputtering method. The FePt layer thickness (dFePt)
was varied from 10 to 100.ANGS. keeping the Pt layer thickness
50.ANGS.. X-ray diffraction data showed that the 100! axis in the Pt
layer and the 100! or 001! axis in the FePt layer were preferred
orientations normal to the film plane in all the samples. Torque
measurements revealed that the easy axis of magnetization was
perpendicular to the film plane in all the samples except for
dFePt=50.ANGS.. The perpendicular anisotropy is considered to be
ascribed mainly to the uniaxial magnetocrystalline anisotropy along the
001! axis of the ordered FePt. As dFePt decreases, the Kerr rotation
.THETA.K was found to decrease, while the remanence .THETA.K ratio was
improved. (author abst.)

DESCRIPTORS: ion beam sputtering; multilayer film; perpendicular magnetic
anisotropy; Kerr effect; photomagnetic effect; artificial superlattice;
platinum; platinum base alloy; iron containing alloy

BROADER DESCRIPTORS: sputtering; membrane and film; magnetic anisotropy;
anisotropy; property; magnetic property; magnetooptic effect; optical
property; magnetic field effect; effect; electrooptic effect; electric
field effect; superlattice; crystal lattice; lattice; platinum group
metal; transition metal; metallic element; element; nonferrous alloy;
alloy; metallic material; containing alloy

CLASSIFICATION CODE(S): BM06102S; BM08020L

(2)

日本応用磁気学会誌 15, 415-418 (1991)

FePt/Pt 人工格子の垂直磁気異方性と磁気カー効果

Perpendicular Magnetic Anisotropy and Magneto-Optical Kerr Effect of FePt/Pt Multilayer Films

渡辺雅人・高梨弘毅・藤森啓安

東北大学金属材料研究所, 仙台市青葉区片平 2-1-1 (980)

M. Watanabe, K. Takanashi and H. Fujimori

Institute for Materials Research, Tohoku Univ., 1-1, Katahira 2-chome, Aoba-ku, Sendai 980

We prepared FePt/Pt multilayer films on MgO (100) substrates, by using an ion beam sputtering method. The FePt layer thickness (d_{FePt}) was varied from 10 to 100 Å keeping the Pt layer thickness 50 Å. X-ray diffraction data showed that the [100] axis in the Pt layer and the [100] or [001] axis in the FePt layer were preferred orientations normal to the film plane in all the samples. Torque measurements revealed that the easy axis of magnetization was perpendicular to the film plane in all the samples except for $d_{\text{FePt}} = 50$ Å. The perpendicular anisotropy is considered to be ascribed mainly to the uniaxial magnetocrystalline anisotropy along the [001] axis of the ordered FePt. As d_{FePt} decreases, the Kerr rotation θ_K was found to decrease, while the remanence θ_R ratio was improved.

Key words: ion beam sputtering, multilayer film, FePt ordered alloy, Pt, magnetocrystalline anisotropy, perpendicular magnetic anisotropy, magneto-optical Kerr rotation.

1. はじめに

現在光磁気記録の分野では記録密度をより向上させるために、短波長領域において光磁気効果の大きな材料が注目されている。その中でも特に Co/Pt 系人工格子は実用化に近いものとして精力的に研究が行われている^{1)~3)}。そのような短波長領域において磁気カー回転角の大きな物質として、我々は FePt 合金に注目した。Buschow らによると FePt 合金の磁気カー回転角は紫外域において短波長側にいくほど増大するという特徴を持っている⁴⁾。またこの合金は CuAu-I 型正方晶で c 軸方向への強い結晶磁気異方性を有することが古くから知られている^{5)~7)}。しかもその一軸結晶磁気異方性定数 $K_1 = 7 \times 10^7 \text{ erg/cc}$ ⁷⁾ は反磁場エネルギー $2\pi M_s^2 = 1.4 \times 10^6 \text{ erg/cc}$ ⁸⁾ よりも一桁以上大きい。そこで我々は人工格子化の方法を用いて配向性を制御し FePt 層を c 軸配

向させることにより、結晶磁気異方性に起因する垂直磁化膜を得ることを考えた。今まで得られた人工格子の垂直磁化膜はすべて界面異方性や逆磁歪効果に起因するもので、積極的に結晶磁気異方性を利用しようという試みはまだない。実際に FePt を人工格子化する時の相手としては Pt を選んだ。今、Pt(100) 面上で FePt を成長させることを想定すると、FePt と Pt は各々面心正方晶と面心立方晶であるから面内の構造は同一であり格子不整合は約 0.5%^{9,10)} とかなり小さいため、界面での構造的乱れはかなり少ない人工格子となると思われる。もし格子整合に伴う整合歪が生じたとすると Pt の格子定数が FePt のそれよりも大きいことから、FePt 層内の面内方向には引張応力が膜面垂直方向には圧縮応力が印加される。このような応力印加状態での CuAu 型合金は圧縮応力の印加方向に c 軸が揃って規則化することがバルクの実験から知られている⁸⁾。したがって FePt が規則化する程度に基板温度を上げれば FePt 層は膜面垂直方向に c 軸配向すると考えられ、FePt 層の結晶磁気異方性に基づく垂直磁化膜が得られることが期待される。本研究では以上のような予想に基づいて FePt/Pt 人工格子を作製し、その構造、磁気異方性および磁気カー効果について調べた。

2. 実験方法

人工格子の作製には多元イオンビームスパッタ装置を用いた。基板は配向性の制御のため MgO(100) 単結晶基板を用い、基板温度は FePt 層の規則化を促進するため 600°C まで昇温した。また比較のため、石英基板にも同時に人工格子を作製した。主なスパッタ条件は、最終到達真空度: $0.9 \sim 1.0 \times 10^{-5}$ Torr, 成膜中真空度: 5×10^{-5} Torr, 加速電圧: 1100 V, 放電電流: $0.7 \sim 1.5$ A である。ターゲットとしては Fe および Pt 各々個別の溶解ターゲット (純度 99.9%) を用いた。各層の膜厚の制御はシャッタの開いている時間を成膜コントローラを用い

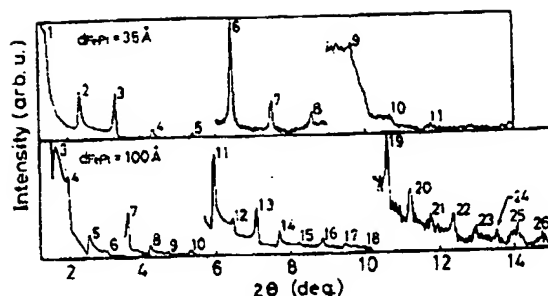


Fig. 1 X-ray diffractograms in a low angle region of FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates.

て制御することにより行った。FePt 合金単層膜の組成を蛍光 X 線分析法により分析した結果、化学量論比からのずれは $\pm 1\%$ 以内であった。人工格子の成長は基板上にまず Pt をバッファ層として 1000 Å 蒸着させた後に行った。Pt 層厚はすべて 50 Å に固定し FePt 層厚 (d_{FePt}) は 100 Å から 10 Å まで変化させた六つの試料を作製した。繰り返し回数は d_{FePt} が小さいほど多くなるように、10 回から 45 回まで変化させた。最表面層はすべて FePt 層とした。

構造解析には θ - 2θ スキャンの回転対称型 X 線回折装置 (Cu-K α) を、磁気異方性の測定にはトルク磁力計 (最大印加磁場 20 kOe) をそれぞれ用いた。極磁気カー回転角 θ_g は膜面側より室温で測定した。光源は He-Ne ガスレーザー (波長 633 nm) を用い、最大印加磁場は 15 kOe である。

3. 実験結果および考察

3.1 構造

人工周期性は低角領域における X 線回折パターンから $d_{\text{FePt}} = 50$ Å の場合を除くすべての人工格子において確認された。例として Fig. 1 に MgO 基板上の $d_{\text{FePt}} = 100$ Å と 35 Å の人工格子の低角 X 線回折パターンを示す。どちらもかなり高次まで、人工周期に対応するブラッグピークが観測され、基板温度が 600°C とかなり高いにもかかわらず良好な人工周期性が保たれていることが分かる。

人工格子の結晶配向性については、高角領域の X 線回折パターンから調べられた。例として Fig. 2 に MgO 基板上の $d_{\text{FePt}} = 100$ Å と 35 Å の人工格子の高角 X 線回折パターンを示す。図上にバルクにおける Pt⁰ の (200) 面と FePt 規則相⁹⁾ の (200) と (002) 面のピーク位置を示す。これから Pt 層は膜面垂直に [100] 軸が、FePt 層は規則相の [100] 軸あるいは [001] 軸が配向し

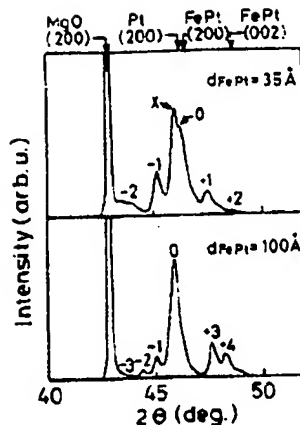


Fig. 2 X-ray diffractograms in a high angle region of FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates. '0' represents the main peak, and ' $\pm 1, \pm 2, \dots$ ' represent the order of the satellite peaks. 'x' represents the peak corresponding to the Pt buffer layer.

ていると考えられる^{*}。MgO 基板上の人工格子ではここに示した (200) あるいは (002) 面に対応するピークの回折強度が最も強く観測された。また d_{FePt} が 10 Å および 50 Å の場合を除いて、2 次から 4 次の人周期に対応するサテライトピークが観測された。一方、参照用の石英基板上の人工格子の場合には (111) 面に対応するピークの回折強度が最も強く観測された。また $d_{\text{FePt}} = 50$ Å の場合を除いて 1 次から 3 次までの人工周期に対応するサテライトピークが観測された。

3.2 磁気異方性

MgO 基板上の人工格子はトルク測定から $d_{\text{FePt}} = 50$ Å の場合を除いてすべて膜面垂直方向が磁化容易軸であることが確認された。例として Fig. 3 に $d_{\text{FePt}} = 100$ Å の MgO 基板上の人工格子のトルク曲線を石英基板上の面内磁化膜の場合と比較して示す。この時の印加磁場は 18 kOe である。 $d_{\text{FePt}} = 100$ Å と 75 Å の場合には面内方向に対応する $\phi = 180^\circ$ において変曲点となっており一軸異方性の他により高次の対称性を持った異方性の存在を示しているが、 $d_{\text{FePt}} \leq 50$ Å の場合のトルク曲線は一軸異方性のみの曲線となっている。すべての場合において最大印加磁場を印加しても鋸歯状の形となり十分に磁化が飽和しないため、磁気異方性の評価は Miyajima らの方法¹⁰⁾ を用いて行った。この方法は膜面垂直方向の一軸の異方性の存在のみを仮定し、膜面垂直から 45° 傾い

* 人工格子と同一条件で作製した FePt 合金単層膜の格子定数は $a = 3.849$ Å, $c = 3.715$ Å で面心立方であることから、人工格子の FePt 層も規則状態であると考えられる。

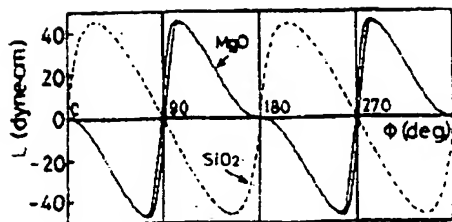


Fig. 3 Torque curve of the FePt(100 Å)/Pt(50 Å) multilayer film on a MgO(100) substrate (solid curve). For comparison, the curve of the FePt(100 Å)/Pt(50 Å) multilayer film on a quartz substrate is also shown (broken curve).

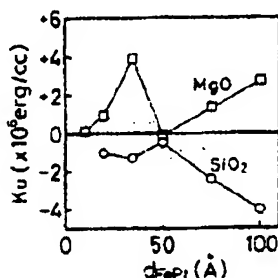


Fig. 4 FePt layer thickness (d_{FePt}) dependence of uniaxial magnetic anisotropy constant K_u for FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates (squares). For comparison, the data of multilayer films on quartz substrates are also shown (circles).

た方向のトルクを磁場を変化させて測定することにより、一軸異方性定数 K_u と M_s の値を得るものである。ここで試料の体積としては FePt 層の総体積の値を用いたので以下に示す K_u と M_s はすべて FePt 層当たりの値である。この方法によって求めた、MgO 基板上の人工格子の室温における K_u の d_{FePt} 依存性を石英基板上の場合と比較して Fig. 4 に示す。MgO 基板上の人工格子の K_u は $d_{\text{FePt}} = 50$ Å の場合を除いてすべて正の値をとっており、膜面垂直方向が磁化容易軸であるいわゆる垂直磁化膜となっているが、石英基板上の人工格子では、 K_u はすべて負の値を示し面内磁化膜となっている。一方、どちらの基板の場合でも K_u の大きさは $d_{\text{FePt}} = 50$ Å において一度極値をとるといった特異な振舞を示している。これまで研究されている人工格子の垂直磁化膜の場合では、通常磁性層厚の減少に伴い垂直磁気異方性が増大しかなり磁性層厚の薄い場合に垂直磁化膜となっている。このような挙動は、垂直磁気異方性に対し正に寄与する界面異方性と負に寄与する体積異方性が競合することによって考えられている¹¹⁾。しかしこの Fe/

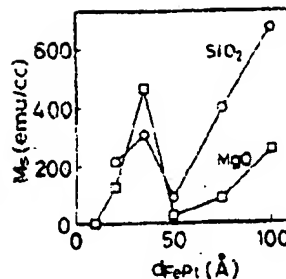


Fig. 5 FePt layer thickness (d_{FePt}) dependence of saturation magnetization M_s for FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates (squares). For comparison, the data for the multilayer films on quartz substrates are also shown (circles).

Pt 人工格子の K_u の d_{FePt} 依存性はそのような振舞とは明らかに異なっている。また膜面垂直に (111) 面が優先配向した石英基板上の人工格子はすべて面内磁化膜となっている。以上のことから MgO 基板上の人工格子の正の垂直磁気異方性は主に膜面垂直に c 軸配向した FePt 層の結晶磁気異方性に起因すると考えられる。

トルク曲線の解析から K_u と同時に得られた室温における人工格子の M_s の d_{FePt} 依存性を Fig. 5 に示す。石英基板上に成長させた $d_{\text{FePt}} = 100$ Å の場合を除いて、 M_s はすべてバルク FePt 規則合金の値 (478 emu/cc)¹²⁾ よりも小さな値となっている。前に述べたように $d_{\text{FePt}} = 100$ Å と 75 Å の場合は完全な一軸異方性ではないために、ここでの M_s の値は実際とやや異なり小さく評価されていると考えられる。また MgO 基板と石英基板の両方の場合で M_s の値は $d_{\text{FePt}} = 50$ Å において極小値をとり、MgO 基板の K_u の大きさの d_{FePt} 依存性と同様の特徴を示している。 $d_{\text{FePt}} = 50$ Å の場合、MgO 基板および石英基板のどちらを用いた時も人工周期性は両者共に確認することができないことから、 K_u および M_s が極値をとるといふ振舞は $d_{\text{FePt}} = 50$ Å において何らかの構造的な変化が生じ人工周期性が失われているためと考えられる。また d_{FePt} が 35 Å 以下において M_s の値が急速に減少しているのは、界面での拡散などが原因として考えられる。

3.3 磁気カー効果

MgO 基板上の人工格子の θ_K ヒステリシスループの例として d_{FePt} が 100 Å と 20 Å の場合を Fig. 6 に示す。 $d_{\text{FePt}} = 100$ Å の場合にはかなり高い磁場まで飽和せず角型比も悪い。 d_{FePt} が 20 Å の場合には θ_K は $d_{\text{FePt}} = 100$ Å より小さいが飽和が早く角型比も改善される。Fig. 7 に MgO 基板上の人工格子の θ_K の d_{FePt} 依存性を示す。

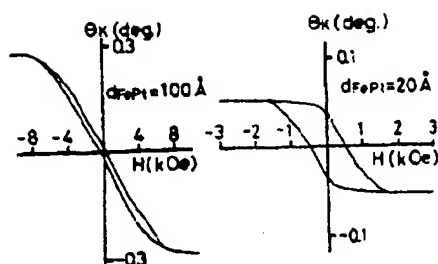


Fig. 6 θ_K hysteresis loops of FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates at 633 nm wavelength.

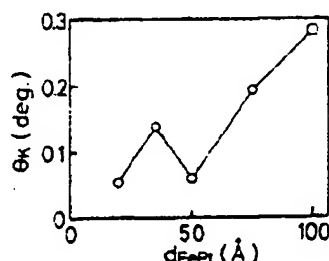


Fig. 7 FePt layer thickness (d_{FePt}) dependence of θ_K at 633 nm wavelength for FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates.

$d_{FePt} = 100$ Å の場合の θ_K はほぼ FePt のバルク値 (-0.32°)⁹⁾ に近い値をもっている。 d_{FePt} が小さくなると全体として θ_K の値は減少していくが $d_{FePt} = 50$ Å において極小となっている。 d_{FePt} が小さいほど非磁性である Pt 層の割合が大きくなるため θ_K の値は減少すると考えられる。 また $d_{FePt} = 50$ Å において θ_K が極小値を持つのは K_u や M_s の場合と同様に構造的な変化によるものと考えられる。 Fig. 8 に MgO 基板上の人工格子の θ_K ヒステリシスループから求めた飽和磁場 H_s と角型比 $(\theta_K)_r/(\theta_K)_s$ の d_{FePt} 依存性を示す。 飽和磁場は d_{FePt} が 50 Å より小さくなると減少し始め、角型比は d_{FePt} が小さいほど単調に増加している。 FePt 層が厚い場合に飽和磁場が大きく角型比が小さい理由としては、FePt 層が厚くなると双晶が入るなどして膜面垂直方向への c -軸の配向性が乱れているのではないかと考えられる。

4. ま と め

MgO(100) 単結晶基板上に FePt/Pt 人工格子を作製し、以下に示す結果を得た。

1) 膜面垂直に人工格子の Pt 層は [100] 軸が FePt 層は規則相の [100] 軸あるいは [001] 軸が配向している。

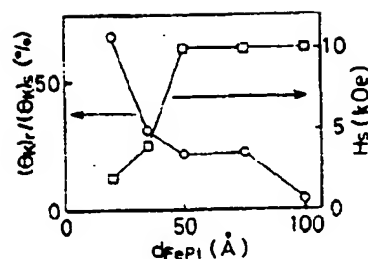


Fig. 8 FePt layer thickness (d_{FePt}) dependence of saturation field H_s (squares) and remanence θ_K ratio $(\theta_K)_r/(\theta_K)_s$ (circles) for FePt(d_{FePt} Å)/Pt(50 Å) multilayer films on MgO(100) substrates.

2) $d_{FePt} = 50$ Å の場合を除いた人工格子はすべて垂直磁化膜となった。 この垂直磁気異方性は [001] 軸配向した FePt 層の結晶磁気異方性に起因すると考えられる。

3) 人工格子の K_u , M_s および θ_K は $d_{FePt} = 50$ Å において極値をとる。 現在のところこれは何らかの構造的変化により人工周期性が失われているためと考えられるが、その原因については今後さらに調べていく必要があると思われる。

4) θ_K ヒステリシスループの飽和磁場は d_{FePt} が 50 Å 以下で減少し始め、角型比は d_{FePt} が小さいほど増加する。

文 献

- 1) P. F. Garcia: *J. Appl. Phys.*, **66**, 5066 (1988).
- 2) Y. Ochiai, S. Hashimoto and K. Aso: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-25**, 3755 (1989).
- 3) W. P. Zeper, F. Greidanus and P. F. Garcia: *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-25**, 3764 (1989).
- 4) K. H. J. Buschow, P. G. van Engen and R. Jongebreur: *J. Magn. Magn. Mat.*, **38**, 1 (1983).
- 5) L. Graf and A. Kussman: *Z. Phys.*, **86**, 544 (1935).
- 6) H. Lipson, D. Shoenberg and G. V. Stupart: *J. Inst. Met.*, **67**, 333 (1941).
- 7) O. A. Ivanov, L. V. Solina, V. A. Demshina and L. M. Magat: *Fiz. Metal. Metalloved.*, **85**, 92 (1973).
- 8) S. Shimizu, S. Horiuchi: *Mat. Trans.*, **1**, 330 (1970).
- 9) 日本化学会編: 化学便覧 基礎編 II 改定 3 版, p. 695. 丸善 (1984).
- 10) H. Miyajima, K. Sato and T. Mizoguchi: *J. Appl. Phys.*, **47**, 4669 (1976).
- 11) P. F. Garcia, A. D. Meinhardt and A. Suna: *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 178 (1985).

1990 年 12 月 3 日受理, 1991 年 2 月 28 日採録